

## СЕКЦИЯ 11. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

[4], а для линейных объектов или месторождений наибольшей экономической эффективности можно добиться путем съемки БПЛА самолетного типа (таблица 2).

Таблица 2

**Эффективность использования БПЛА**

Тип объекта	Площадь съемки, га	Традиционная геодезическая съемка	Аэрофотосъемка с БПЛА вертолетного типа	Аэрофотосъемка с БПЛА самолетного типа
Площадный объект (в том числе реконструкция)	До 100	<b>Эффективна на небольшой площади</b>	<b>Эффективна</b>	Низкая эффективность
Линейный объект	От 500 до 5000	Низкая эффективность	Низкая эффективность	<b>Эффективна</b>
Месторождение	От 5000	Низкая эффективность	Низкая эффективность	<b>Эффективна</b>

Беспилотные летательные аппараты в настоящее время активно используются для проведения инженерных изысканий на нефтегазовых месторождениях. Комбинированная работа БПЛА и роботизированных гусеничных платформ позволяет существенно увеличить продолжительность их работы [5].

Уже разработанные прототипы гетерогенных робототехнических систем отличаются скоростью обслуживания, сложностью внутренних узлов конструкции, а также алгоритмами совместной работы при посадке БПЛА на платформу и заряду аккумуляторов. Для этого используется значительное количество сенсоров, систем навигации и методов анализа окружающей территории [6].

В ходе выполнения работы был проведен анализ требований к обслуживанию аккумуляторов беспилотного летательного аппарата при взаимодействии с гусеничной наземной платформой, определены классы зарядных станций аккумуляторов. Была составлена концептуальная модель системы управления гетерогенных роботизированных комплексов и проанализирована экономическая эффективность от применения БПЛА для разных типов объектов при обустройстве нефтегазовых месторождений.

### Литература

1. Кремлев И.А. Применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении инженерных изысканий на нефтегазовых месторождениях // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне – Томск, 2020. – Том № 2. – С. 185 – 186.
2. Попова Л.Н. Применение беспилотных летательных аппаратов в условиях Крайнего Севера//Молодой ученый. – Казань, 2016. – № 24. – С. 105 – 108.
3. Прокопьев И.В., Бецов А.В. Структура системы управления беспилотных летательных аппаратов специального назначения//Надежность и качество. – Пенза, 2012. – № 1. – С. 15 – 20.
4. Саяпова В.В., Уразбахтин Р.Р. Мониторинг химических объектов с помощью беспилотных летательных аппаратов//Современные научные исследования и разработки. – Астрахань, 2017. – № 4. – С. 260 – 262.
5. Хан В.Д., Кугаевский В.И. Сравнительный анализ точности геодезических работ при их выполнении с помощью БПЛА "Gatewing X100" и наземной сканирующей установки "Riegl VZ-1000"/Интерэкспо Гео-Сибирь. – Новосибирск, 2013. – № 3. – С. 111 – 115.
6. Шихмагомедова С.М. Использование беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли//Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург, 2017. – № 6-2. – С. 48 – 50.

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

**Малькова Я.Ю., Уфа Р.А.**

Научный руководитель - доцент Р.А. Уфа

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

Протяженность распределительных сетей с каждым годом планомерно возрастает, что, в свою очередь, приводит к увеличению суммарных потерь мощности в энергосистеме и снижению относительного уровня напряжения на ее шинах. Проведение мероприятий по снижению потерь мощности: реконфигурация сети, локальная установка объектов распределенной генерации или устройств компенсации реактивной мощности, способствует повышению надежности системы, ее статической и динамической устойчивости.

В свою очередь, объекты распределенной генерации получили достаточно широкое распространение ввиду растущего спроса на электроэнергию и невозможности передавать большую мощность от централизованного источника питания (объекта традиционной генерации) без увеличения пропускной способности линий электропередачи. В частности, в России за последние пять лет фактическое потребление электроэнергии увеличилось с 1008 до 1034 млрд кВт ч, т.е. на 2,5% [4].

При планировании новых вводов объектов распределенной генерации встает вопрос определения основных параметров объекта, таких как место установки в энергосистеме и его мощность. Данная задача носит

оптимизационный характер, так как внедрение объекта распределенной генерации оптимальной конфигурации позволяет улучшить значение режимных параметров системы, а также обеспечить соответствие отраслевым стандартам. В частности, отклонение величины уровня напряжения от номинального значения не должно превышать 5% [3].

Решение обозначенной задачи для сетей большой размерности осуществляют посредством применения оптимизационных алгоритмов эвристической группы: генетического алгоритма, метода муравьиной колонии, метода роя частиц и его различных модификаций [1] и др. При этом, основой расчетной части является определение перетоков и потерь активной и реактивной мощности.

Стоит отметить, что непосредственное применение программных комплексов, в частности MATLAB/Simulink, позволяет лишь провести верификацию результата, полученного тем или иным оптимизационным алгоритмом, но не позволяет установить среди всех возможных решений задачи, с учетом заданных ограничений, место установки в систему и величину мощности объекта распределенной генерации.

Математические выкладки, отражающие сущность расчета перетоков и потерь мощности, как правило, построены на применении итерационного метода, который предполагает выполнение  $n + 1$  числа итераций пересчета величины перетоков активной и реактивной мощности и уровней напряжения на шинах системы до момента удовлетворения задаваемой наперед величине ошибки расчета. Так, например, для уровня напряжения  $i$ -ой шины данное условие запишется в следующем виде:

$$|u_i^{n+1} - u_i^n| \leq \varepsilon, \quad (1)$$

где  $u_i^{n+1}$  – уровень напряжения  $i$ -ой шины на  $n + 1$  итерации,  $u_i^n$  – уровень напряжения  $i$ -ой шины на  $n$ -ой итерации,  $\varepsilon$  – допустимая величина ошибки расчета.

Для определения оптимальных параметров внедряемого объекта распределенной генерации с точки зрения получения минимального из возможных, значения контролируемого параметра (или функциональной зависимости совокупности контролируемых параметров) только посредством выполнения расчета итерационным методом (без применения оптимизационных алгоритмов) необходимо вручную рассчитать все возможные сценарии единичной установки объекта, количество которых определяется следующим образом:

$$N = \sum_{i=1}^m \frac{p_i}{s}, \quad (2)$$

где  $N$  – число возможных сценариев единичной установки объектов распределенной генерации,  $p_i$  – максимальное значение мощности объекта распределенной генерации, устанавливаемого на  $i$ -ую шину,  $i = 1...m$  – номер шины,  $s$  – шаг изменения мощности объекта распределенной генерации.

Так, для типовой 15-узловой IEEE схемы, параметры которой приведены в [2], число возможных сценариев единичной установки объектов распределенной генерации в соответствии с формулой (2) при шаге изменения мощности, равном 0,1 о.е. мощности нагрузки шины установки, и максимальной мощности, равной мощности нагрузки шины установки, составляет:

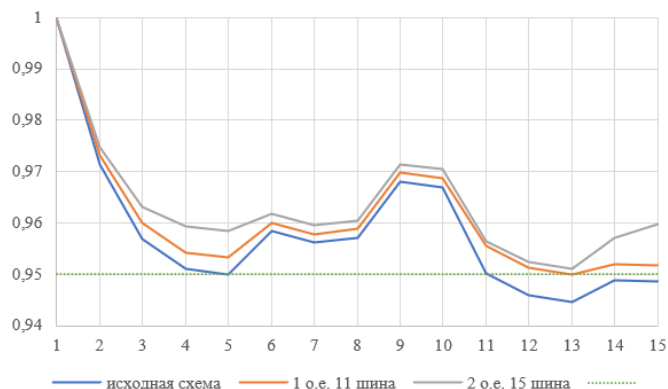
$$N = \sum_{i=1}^{15} \frac{p_i}{s} = 4 \cdot \frac{p_2}{0,1p_1} + 5 \cdot \frac{p_3}{0,1p_3} + 5 \cdot \frac{p_4}{0,1p_4} = 140. \quad (3)$$

После получения набора значений из 140 чисел необходимо выполнить их сортировку, т.е. осуществить поиск минимального значения и сопоставить данному значению сценарий его получения (номер шины и величину мощности внедряемого объекта). Согласно представленным выкладкам, можно заключить, что ручное применение итерационного метода расчета перетоков и потерь мощности без реализации того или иного оптимизационного алгоритма требует значительных временных затрат. Ручная установка объектов распределенной генерации в виде соответствующих блоков в программном комплексе MATLAB/Simulink предполагает временные затраты аналогичной продолжительности.

В рамках настоящей статьи приведем пример решения обозначенной ранее оптимизационной задачи для типовой 15-узловой IEEE схемы. Выполнена программная реализация расчета перетоков и потерь мощности с последующим выполнением сортировки, основанной на пузырьковом сортировочном методе, для всех возможных сценариев (шины установки со 2-ой по 15-ую, мощности в соответствии с устанавливаемым диапазоном допустимых мощностей) для трех различных максимальных значений диапазона мощностей: 0,6 о.е., 1 о.е. и 2 о.е. мощности нагрузки шины установки. При этом мощность, генерируемая внедряемым объектом распределенной генерации, носит чисто активный характер. Так, при реализации сценария, при котором мощность внедряемого объекта распределенной генерации варьируется в диапазоне 0...0,6 о.е. мощности нагрузки шины установки отсутствует оптимальный вариант, при котором обеспечивается соответствие уровней напряжения всех шин системы требуемому 0,95...1,05 о.е. При расширении диапазона допустимых мощностей 0...1 о.е. мощности нагрузки шины установки оптимальной является установка объекта распределенной генерации на шину 11, при этом мощность внедряемого объекта соответствует мощности нагрузки 11 шины, а именно 140 кВт. Суммарные потери мощности составили 54,596 кВт, сократились на 11,5% в сравнении с исходной схемой (без локальной установки дополнительной генерации).

При последующем расширении диапазона 0...2 о.е. мощности нагрузки шины установки оптимальным местом установки по результатам работы программной реализации алгоритма перетоков и потерь мощности оказалась шина 15, мощность внедряемого объекта соответствует двойной мощности нагрузки шины 15, т.е. 280 кВт. Потери мощности в системе сократились на 20,4% в сравнении с исходной схемой и составили 49,091 кВт.

На рис. представлены относительные напряжения шин системы для трех расчетных случаев: исходная схема, схема при установке генерации 140 кВт на шину 11 и схема при установке генерации 280 кВт на шину 15.



**Рис. Уровень напряжения шин 15-узловой IEEE схемы**

В соответствии с рис., установка объекта распределенной генерации оптимальной конфигурации способствует повышению относительного напряжения всех шин системы до требуемого уровня 0,95...1,05 о.е. номинального напряжения системы. Причем, чем больше размер устанавливаемого объекта (больше его мощность), тем больше величина данного влияния.

Таким образом, можно заключить, что ввиду наблюдаемого роста спроса на электроэнергию определяется необходимость проектирования новых вводов генерации, в том числе распределенной. Распределенная генерация, в свою очередь, при интегрировании в сеть оказывает влияние на ее режимные параметры. При условии определения оптимальной конфигурации данное влияние носит положительный характер, а также обеспечивает соответствие значений параметров требованиям отраслевых стандартов. В рамках данной оптимизационной задачи производится расчет перетоков и потерь мощности в системе посредством применения итерационного метода, для упрощения поиска глобального минимума контролируемого параметра осуществляется программная реализация того или иного оптимизационного алгоритма. Выполнена программная реализация итерационного метода на языке JavaScript для трех расчетных случаев: диапазон допустимых мощностей внедряемого объекта 0...0,6 о.е., 0...1 о.е. и 0...2 о.е. мощности нагрузки шины установки объекта, при этом мощность, генерируемая объектом, носит чисто активный характер. Полученные результаты подтверждают положительный характер влияния объекта распределенной генерации оптимальной конфигурации на режимные параметры энергосистемы.

#### Литература

1. Karunarathne, E. Optimal Placement and Sizing of DGs in Distribution Networks Using MLP SO Algorithm [Text] / E. Karunarathne, J. Pasupuleti, J. Ekanayake, and D. Almeida // *Energies*. – 2020. – V. 13. – P. 1-25.
2. Sudhakar, T.D. Modeling and Simulation of Distribution Network with the Integration of Distribution Generator using Matlab [Text] / T.D. Sudhakar, M.R. Rajan, K.N. Srinivas, R.R. Prabu, T.V. Narmadha, and M.M. Krishnan // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2016. – V. 9(12). – P. 1-7.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200104301>.
4. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2020 году. СО «ЕЭС» России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups\\_rep2020.pdf](https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf).

#### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАЛИЧИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОСЕТИ НА ДЕЙСТВИЕ АВТОМАТИКИ ОГРАНИЧЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЧАСТОТЫ**

**Мицкевич Р.В., Рубан Н.Ю., Андреев М.В.**

Научный руководитель - доцент Н.Ю. Рубан

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

В связи с развитием технологий все большее внимание уделяется вопросам внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Закономерно возникают проблемы обеспечения устойчивости энергосистемы ввиду невозможности получения постоянной мощности от объектов ВИЭ. Таким образом, задачи регулирования частоты сети и обеспечения баланса генерируемой и потребляемой мощности осложняются с увеличением проникновения объектов ВИЭ в энергосистему [4].

В силу высокой скорости протекания процессов снижения частоты при резком возникновении дефицита мощности, дежурный персонал не имеет возможности оперативно среагировать и принять надлежащие меры в первые моменты времени. Для предотвращения развития аварийных ситуаций в энергосистеме используются устройства автоматики регулирования перетоков активной мощности и ограничения снижения частоты [3].